

## ENGLISH LANGUAGE TRANSLATION

German Patent Publication No.: DE 100 54 552 A1

Publication Date: May 2, 2002

German Application No.: 100 54 552.1

Application Filing Date: November 1, 2000

---

### ABSTRACT

#### **Coupling Device For Optical Coupling Between Displaced Optical Transmission And Receiving Elements**

The invention concerns a coupling device for the optical coupling of at least one optical transmission element and at least one optical receiving element, whose optical axes are not aligned, where the coupling device guides light beams of an optical active zone of the transmission elements on an optical active zone of the receiving element.

According to the invention the coupling device has a bar lens (1) with a first and second optical breaking convex surface (2, 3), of which one is turned to the transmitting element (4) and the other to the receiving element (5), and at least one of the front surfaces is in such a manner formed, that it forms a rotation symmetric surface (2, 3), as for instance a rotation hyper boloids and a rotation ellipsoid.



⑪ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 54 552 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 02 B 6/42**  
H 04 B 10/02  
H 04 B 10/20

⑲ Aktenzeichen: 100 54 552.1  
⑳ Anmeldetag: 1. 11. 2000  
㉑ Offenlegungstag: 2. 6. 2002

DE 100 54 552 A 1

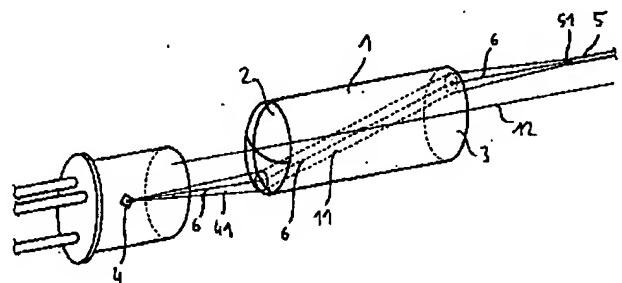
⑦ Anmelder:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE  
  
⑭ Vertreter:  
Maikowski & Ninnemann, Pat.-Anw., 10707 Berlin

⑧ Erfinder:  
Heinrich, Hans-Helmut, 12687 Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤ Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung versetzt zueinander angeordneter optischer Sende- und Empfangselemente

⑥ Die Erfindung betrifft eine Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung mindestens eines optischen Sendeelements mit mindestens einem optischen Empfangselement, deren optischen Achsen gegeneinander versetzt sind, wobei die Kopplungseinrichtung Lichtstrahlen einer optisch aktiven Zone des Sendeelements auf eine optisch aktive Zone des Empfangselements abbildet. Erfindungsgemäß weist die Kopplungseinrichtung eine Stablinse (1) mit einer ersten und einer zweiten optisch brechenden, konvexen Stirnfläche (2, 3) auf, von denen die eine dem Sendeelement (4) und die andere dem Empfangselement (5) zugewandt ist, und ist mindestens eine der Stirnflächen (2, 3) derart geformt, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbildet, die zwischen einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt.



DE 100 54 552 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung mindestens eines optischen Sendeelements mit mindestens einem optischen Empfangselement nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie eignet sich zur optischen Kopplung von optischen Sende- und Empfangselementen, die versetzt zueinander angeordnet sind, insbesondere zur optischen Kopplung von versetzt zueinander angeordneten optoelektronischen Wandlern und Lichtwellenleitern.

[0002] Bei der optischen Signalübertragung besteht häufig das Problem, Lichtwellenleiter optisch mit optoelektronischen Wandlern wie Photodioden oder strahlungsemitierenden Bauelementen zu koppeln. Die optischen Achsen der Lichtwellenleiter sind dabei teilweise aufgrund baulicher Vorgaben gegenüber den optischen Achsen der optoelektronischen Wandler versetzt angeordnet. Zur Lichtübertragung ist in solchen Fällen eine Übertragungsoptik erforderlich, die die Strahlungsleistung der optisch aktiven Zone des optischen Sendeelements über den Versatz hinweg auf die optisch aktive Zone des optischen Empfangselements abbildet. Als optisch aktive Zone wird dabei derjenige Bereich eines optoelektronischen Wandlers oder eines Lichtwellenleiters bezeichnet, in dem eine Ein- oder Auskopplung von Lichtenergie in einen optischen Pfad erfolgt.

[0003] Aus der DE-C2-197 42 895 ist eine Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung versetzt zueinander angeordneter optischer Sende- und Empfangselemente bekannt, bei der der optische Pfad zwischen einem optoelektronischen Wandler und einem dazu versetzt angeordneten Lichtwellenleiter über eine zentrierte Optik erfolgt, in deren Strahlengang Spiegel angeordnet sind. Des weiteren sind Kopplungseinrichtungen mit einer nichtzentrischen Optik beschrieben, bei denen die Lichtstrahlen über unterschiedlich ausgebildete Grenzflächen eines Kopplungselements miteinander gekoppelt werden. Die genaue Ausgestaltung der Grenzflächen ist dabei nicht näher erläutert.

[0004] Aus Hofmann, Ch.: Die optischen Abbildung, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1980, ist es bekannt, telezentrische Abbildungen unter Verwendung von Gradientenindex-Linsen einzusetzen, um eine optische Kopplung zwischen versetzt angeordneten Sende- und Empfangselementen bereitzustellen. Die Übertragungsgüte ist jedoch nur für achsnahe Strahlen befriedigend.

[0005] Nachteilig an den bekannten Lösungen ist, daß sie relativ schwierig zu fertigen und dementsprechend teuer herzustellen sind. Zusätzlich ist die Lichtübertragung durch Verluste eingeschränkt, die an partiell brechenden oder reflektierenden Flächen entstehen.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung mindestens eines optischen Sendeelements mit mindestens einem versetzt angeordneten optischen Empfangselement zur Verfügung zu stellen, die aus einer einfach zu fertigenden Optik besteht, gute Abbildungseigenschaften besitzt und eine verlustarme Lichtübertragung bereitstellt.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Kopplungseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Kopplungseinrichtung eine Stablinse mit einer ersten und einer zweiten optisch brechenden, konvexen Stirnfläche aufweist, von denen die eine dem Sendeelement und die andere dem Empfangselement zugewandt ist. Die Oberfläche mindestens einer der Stirnflächen ist derart geformt, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbildet, die zwischen einer

Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt.

[0009] Eine solche Oberflächenform stellt den bestmöglichen Kompromiß zwischen einer Stirnfläche her, die sämtliche von der Hauptachse ausgehenden Strahlenbündel ideal parallelisiert und damit einen Punkt ideal abbildet (dies ist bei einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids der Fall), und einer Oberfläche, die gleiche Brennweiten für die meridionale Ebene und die Sagittalebene bereitstellt und somit einen Astigmatismus der Abbildung verhindert (dies ist beim Rotationsellipsoid der Fall). Die bestmögliche Oberflächenform liegt zwischen den genannten Grenzflächen.

[0010] Die erfindungsgemäß Ausbildung der Stirnfläche der Stablinse ermöglicht auch für einen weit geöffneten Strahlenkegel des Sendeelements eine Abbildung, die eine Bündelung der Strahlungsenergie des Sendeelements auf eine minimale aktive Zone des Empfangselements vornimmt. Für den bevorzugten Fall, daß die beiden Stirnflächen zueinander symmetrisch ausgebildet sind, wird ein beidseitiger telezentrischer Strahlengang zwischen dem Sendeelement und dem Empfangselement zur Verfügung gestellt.

[0011] Ein beidseitig telezentrischer Strahlengang ist ein Strahlengang, bei dem parallel zur optischen Achse des Kopplungselements verlaufende Strahlen das Kopplungselement ebenfalls als parallele Strahlen, jedoch unter einem Querversatz verlassen. Der durch die Erfindung bereitgestellte telezentrische Strahlengang stellt die beste Anpassung zu den parallelen, jedoch zueinander versetzten Strahlungs- und Empfangscharakteristiken des Sendeelements und des Empfangselements zur Verfügung.

[0012] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß mindestens eine Stirnfläche der folgenden Beziehung genügt:

$$z = \rho^2/R [1 + (1 - (1 + \epsilon)(\rho^2/R^2))^{1/2}].$$

[0013] Dabei ist  $z$  gleich der axialen Koordinate der Stirnfläche entlang der Längsachse der Stablinse,  $\rho$  gleich der radialen Koordinate der Stirnfläche senkrecht zur Längsachse der Stablinse und  $R$  (eine Konstante bzw. ein Parameter) gleich dem Krümmungsradius der Stirnfläche an der optischen Achse.  $\epsilon$  ist die sogenannte konische Konstante, die das Verhältnis der Hauptachsen des rotationssymmetrischen zweischaligen Hyperboloids bzw. des Rotationsellipsoids angibt. Die obigen Formel ist an sich aus Hofmann, Ch.: Die optischen Abbildung, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1980, bekannt.

[0014] Es wurde nun empirisch ermittelt, daß der Wert von  $\epsilon$  bevorzugt zwischen  $-1,1$  und  $-1,2$  liegt und insbesondere gleich  $-1,15$  ist, und zwar unabhängig von den konstruktiven Vorgaben, die sich etwa durch den durch Abstand zwischen Sende- und Empfangselement ergeben. Es handelt sich vielmehr um einen elementaren Wert, der die ideale Formgebung der Stirnfläche der Stablinse angibt.

[0015] Das Sendeelement ist bevorzugt eine optische Quelle, insbesondere eine Laserdiode oder eine Lumineszenzdiode und das Empfangselement ein Lichtwellenleiter. Alternativ ist das Sendeelement ein Lichtwellenleiter und das Empfangselement eine optische Senke, insbesondere eine Photodiode.

[0016] Die Erfindung wird nachfolgend unter der Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 eine erfindungsgemäß Anordnung mit einer Stablinse, die eine optischen Kopplung zwischen einem Sendeelement und einem versetzt angeordneten Empfangs-

element bereitstellt;

[0018] Fig. 2 ein zweischaliges Rotationshyperboloid;

[0019] Fig. 3 eine schematische Darstellung der Anordnung der Fig. 1 und

[0020] Fig. 4 ein Spotdiagramm, das die Abbildung der Lichtstrahlen mittels der Anordnung der Fig. 3 angibt.

[0021] Fig. 1 zeigt ein Sendeelement, etwa eine Lumineszenz-Diode 5 mit einem relativ weiten Strahlungskegel 41, dessen von einer aktiven Zone (nicht gesondert dargestellt) ausgestrahltes Licht eine Stablinse 4 durchläuft und durch die Stablinse 4 auf eine optisch aktive Zone eines Empfangselements, nämlich den Faserkern 51 eines Lichtwellenleiters 5 gebündelt wird. Ebenso kann es sich bei dem Element 4 um eine Empfangselement handeln, das vom Lichtwellenleiter 5 ausgestrahltes Licht empfängt.

[0022] Wie in Fig. 1 zu erkennen, sind die optischen Achsen von Lichtwellenleiter 5 und Sendeelement 5 parallel zueinander versetzt.

[0023] Die dem Sendeelement 4 zugewandte Stirnseite 2 und die dem Lichtwellenleiter 5 zugewandte Stirnseite 3 der Stablinse 1 sind derart geformt, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbilden, die zwischen einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt. Das Licht des Strahlungskegels wird dabei an der Stirnseite 2 parallelisiert und als paralleles Strahlenbündel 11 durch die Stablinse 1 geleitet. An der Stirnseite 3 austretendes Licht wird auf den Faserkern 51 der Faser 5 gebündelt. Der Strahlengang der Fig. 1 ist dabei beidseitig telezentrisch, da zur Hauptachse 12 der Stablinse 1 parallele Eingangsstrahlen 6 als parallele Ausgangsstrahlen abgebildet werden.

[0024] Die Ausbildung der Stirnflächen 2, 3 derart, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbilden, die zwischen einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt, beruht auf folgenden Überlegungen bzw. Bedingungen. Dabei ist anzustreben, daß divergentes Licht des Sendeelements 4 in der Stablinse 1 parallelisiert und telezentrisch auf eine minimale Empfangsfläche 51 abgebildet wird.

(1) Die optisch wirksamen Stirnflächen der Stablinse müssen bezüglich der Achse 12 der Stablinse rotationssymmetrisch sein. Ansonsten ist eine einfache Herstellung nicht möglich.

(2) Die Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids parallelisiert in idealer Weise von einem Punkt der Hauptachse ausgehende Strahlen und stellt für solche Punkte somit eine ideale Abbildung zur Verfügung. Dieser Zusammenhang ist in Fig. 2 dargestellt, die ein Rotationshyperboloid mit zwei Schalen 32, 33 zeigt. Ein vom Punkt 31 auf der Hauptachse 30 ausgehender Lichtstrahl wird von der jeweiligen Schale 32, 33 parallelisiert und von einer weiteren entsprechenden Schale (nicht dargestellt) wieder auf einen Punkt abgebildet. Ein zweischaliges Rotationshyperboloid gehorcht dabei der Beziehung

$$-x^2/a^2 - y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1,$$

wobei die z-Achse in Richtung der ausgezeichneten Hauptachse zeigt. Es gilt dabei für das zweischalige Rotationshyperboloid, daß  $a = b$  ist.

Bei dem zu verwirklichenden telezentrischen Strahlengang gehen die Strahlen jedoch nicht von der Hauptachse des Rotationshyperboloids aus. Die führt zu einer unterschiedlichen Brechung der Strahlen, die in der meridionalen Ebene liegen und den Strahlen, die in der Sagittalebene liegen, und damit zu einem Astigmatismus

der Abbildung. Die meridionale Ebene ist dabei definiert durch die Rotationsachse 5 der Stablinse und den Hauptstrahl 9 (vgl. Fig. 1). Die Sagittalebene verläuft senkrecht dazu.

(3) Damit für den gewünschten telezentrischen Strahlengang kein Astigmatismus auftritt, müssen die Brennweiten der meridionalen Ebene und der sagittalen Ebene gleich sein. Diese Bedingung wird durch ein Rotationsellipsoid ideal erfüllt. Das Rotationsellipsoid gehorcht allgemein der Beziehung:

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1,$$

wobei zwei der Größen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  gleich sind.

Aus der Bedingung, daß Brennweiten der meridionalen Ebene und der sagittalen Ebene gleich sind, ergibt sich für das Verhältnis der Halbachsen  $a_E$  quer zur Rotationsachse und  $c_E$  in Richtung der Rotationsachse:

$$(a_E/c_E)^2 = 1,5.$$

(4) Den bestmöglichen Kompromiß zwischen den beiden Grenzflächen-Funktionen eines Rotationshyperboloids und eines Rotationsellipsoids stellt die Erfindung zur Verfügung. Dabei gilt für die Grenzfläche:

$$z = \rho^2/R [1 + (1 - (1 + \epsilon)(\rho^2/R^2))^{1/2}]$$

$Z$  ist gleich der axialen Koordinate der Stirnfläche entlang der Längsachse der Stablinse,  $\rho$  gleich der radialen Koordinate der Stirnfläche senkrecht zur Längsachse der Stablinse und  $R$  (eine Konstante bzw. ein Parameter) gleich dem Krümmungsradius der Stirnfläche an der optischen Achse.  $\epsilon$  ist die konische Konstante, die das Verhältnis der Hauptachsen des rotationssymmetrischen zweischaligen Hyperboloids bzw. des Rotationsellipsoids angibt.  $\epsilon$  erhält bevorzugt den Wert einen Wert zwischen  $-1,1$  und  $-1,2$ , bevorzugt den Wert  $-1,15$ . Gerade der Wert von  $-1,15$  hat sich dabei unabhängig von den konkreten verwendeten Größen für die Stablinse als bestmöglich erwiesen.

[0025] Für die konkrete konstruktive Ausgestaltung der Stablinse und deren Anordnung zwischen einem Sendeelement und einem Empfangselement sind die folgenden Bedingungen zu beachten:

(1) Die Brennweite der Stablinse 1 muß den Konstruktionsvorgaben (Abstand Sendeelement 4 – Empfangselement 5) entsprechen.

(2) Die telezentrische Kollimation und Neigung der Strahlung innerhalb der Stablinse 1 muß dem vorgegebenen konstruktionsbedingten Versatz zwischen Sendeelement 4 und Empfangselement 5 entsprechen.

[0026] Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, das die obigen Bedingungen berücksichtigt, unter Nennung der konkreten optischen Größen. Der Abstand 24 zwischen Sendeelement 4 und Empfangselement 5 beträgt 16,93 mm. Der Versatz 25 zwischen den beiden optischen Achsen beträgt 1,1 mm. Bei diesen Vorgaben ergibt sich als beste Lösung für die optische Abbildung eine telezentrische Stablinse der Länge 21 von 10,93 mm. Die optisch brechenden Stirnflächen berechnen sich nach der obigen Formel, wobei  $\epsilon = -1,15$  ist und  $\rho_{\max} = 2$  mm.

[0027] Sendeelement 4 und Empfangselement 5 befinden sich jeweils in einer Ebene, die 3 mm (Abstand 22, 23) vom Scheitelpunkt der Stirnflächen der 2, 3 entfernt sind. Die

Brechzahl der Stablinse beträgt 1,62.

[0028] Eine solche Stablinse stellt bei einer sendenden Punktquelle 4 mit einem Öffnungswinkel des Strahlungskegels von 15° sicher, daß die gesamte Strahlungsleistung der Punktquelle in einer kreisförmigen Empfängerfläche (Empfängerfläche 51 des Lichtleiters 5) eines Durchmessers von 20 µm erfaßt wird.

[0029] In Fig. 4 ist ein sogenanntes Spotdiagramm für die Anordnung der Fig. 3 dargestellt, das die Güte der erfindungsgemäßen Abbildung verdeutlicht. Es sind bei einem Öffnungswinkel von 15° des Lichtkegels einer Punktquelle die Auftreffpunkte in der Empfängerenebene (Empfängerfläche 51 des Lichtleiters 5) dargestellt. Der eingezeichnete Kreis 26, der im Ausführungsbeispiel der Fig. 3 einen Durchmesser von 9 µm aufweist, bezeichnet dabei die physikalische Grenze der Strahlungsblünderung, die sich durch das Beugungsscheibchen ergibt. Wie in Fig. 4 zu erkennen ist, befinden sich sehr viele Auftreffpunkte bzw. Abbildungspunkte im oder nahe am Kreis 26.

[0030] Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die vorstehenden Ausführungsbeispiele. Wesentlich für die Erfindung ist allein, daß die Kopplungseinrichtung eine Stablinse mit einer ersten und einer zweiten optisch brechenden, konvexen Stirnfläche aufweist, von denen die eine dem Sendeelement und die andere dem Empfangselement zugewandt ist, und mindestens eine der Stirnflächen derart geformt ist, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbildet, die zwischen einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt.

#### Patentansprüche

1. Kopplungseinrichtung zur optischen Kopplung mindestens eines optischen Sendeelements mit mindestens einem optischen Empfangselement, deren optische Achsen gegeneinander versetzt sind, wobei die Kopplungseinrichtung Lichtstrahlen einer optisch aktiven Zone des Sendeelements auf eine optisch aktive Zone des Empfangselements abbildet, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungseinrichtung eine Stablinse (1) mit einer ersten und einer zweiten optisch brechenden, konvexen Stirnfläche (2, 3) aufweist, von denen die eine dem Sendeelement (4) und die andere dem Empfangselement (5) zugewandt ist, und mindestens eine der Stirnflächen (2, 3) derart geformt ist, daß sie eine rotationssymmetrische Fläche ausbildet, die zwischen einer Schale eines zweischaligen Rotationshyperboloids und einem Rotationsellipsoid liegt.

2. Kopplungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Stirnflächen (2, 3) zueinander symmetrisch ausgebildet sind.

3. Kopplungselement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Stirnfläche (2, 3) der Beziehung genügt:

$$z = p^2/R [1 + (1 - (1 + e) (p^2/R^2))^{1/2}]$$

wobei z gleich der axialen Koordinate der Stirnfläche entlang der Längsachse der Stablinse, p gleich der radialen Koordinate der Stirnfläche senkrecht zur Längsachse der Stablinse, R gleich dem Krümmungsradius der Stirnfläche an der optischen Achse und e die konische Konstante ist und einen Wert zwischen -1,1 und -1,2 aufweist, insbesondere gleich -1,15 ist.

4. Kopplungselement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindex der Stablinse (1) etwa bei 1.6 liegt.

5. Kopplungselement nach mindestens einem der vor-

angehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sendeelement eine optische Quelle, insbesondere eine Laserdiode oder eine Lumineszenzdiode (1) und das Empfangselement ein Lichtwellenleiter (5) ist.

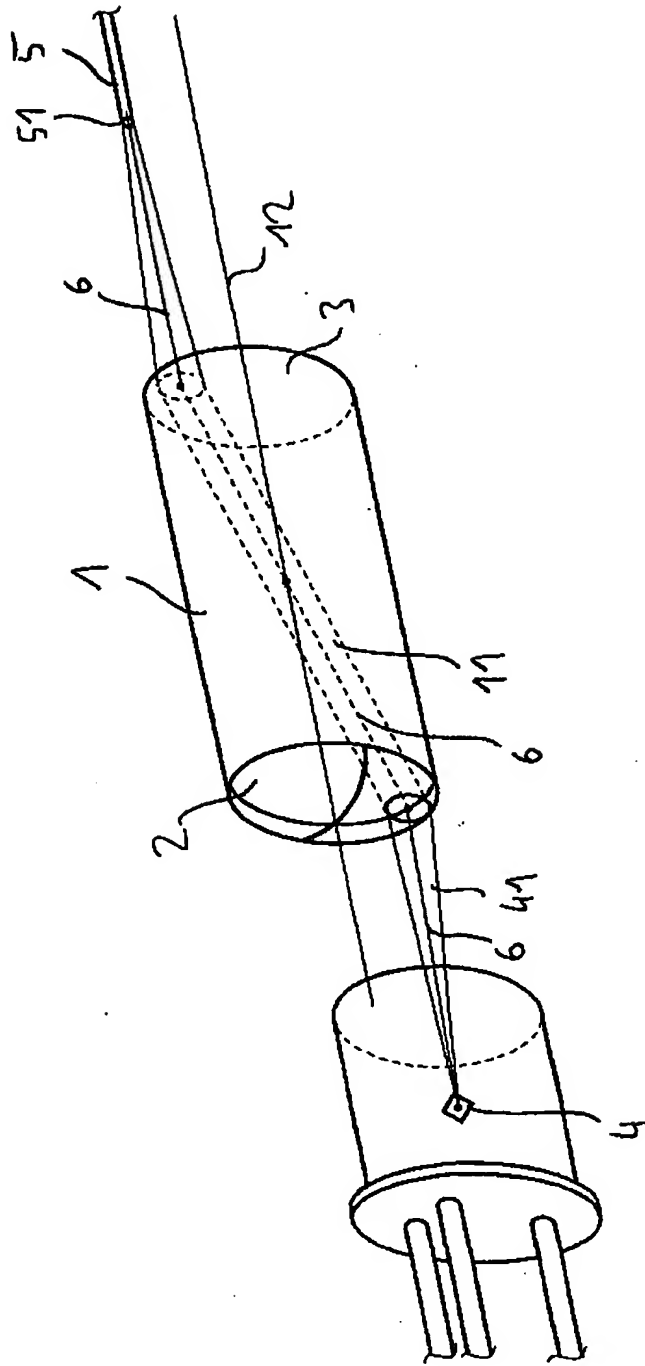
6. Kopplungselement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sendeelement ein Lichtwellenleiter und das Empfangselement eine optische Senke, insbesondere eine Photodiode ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1



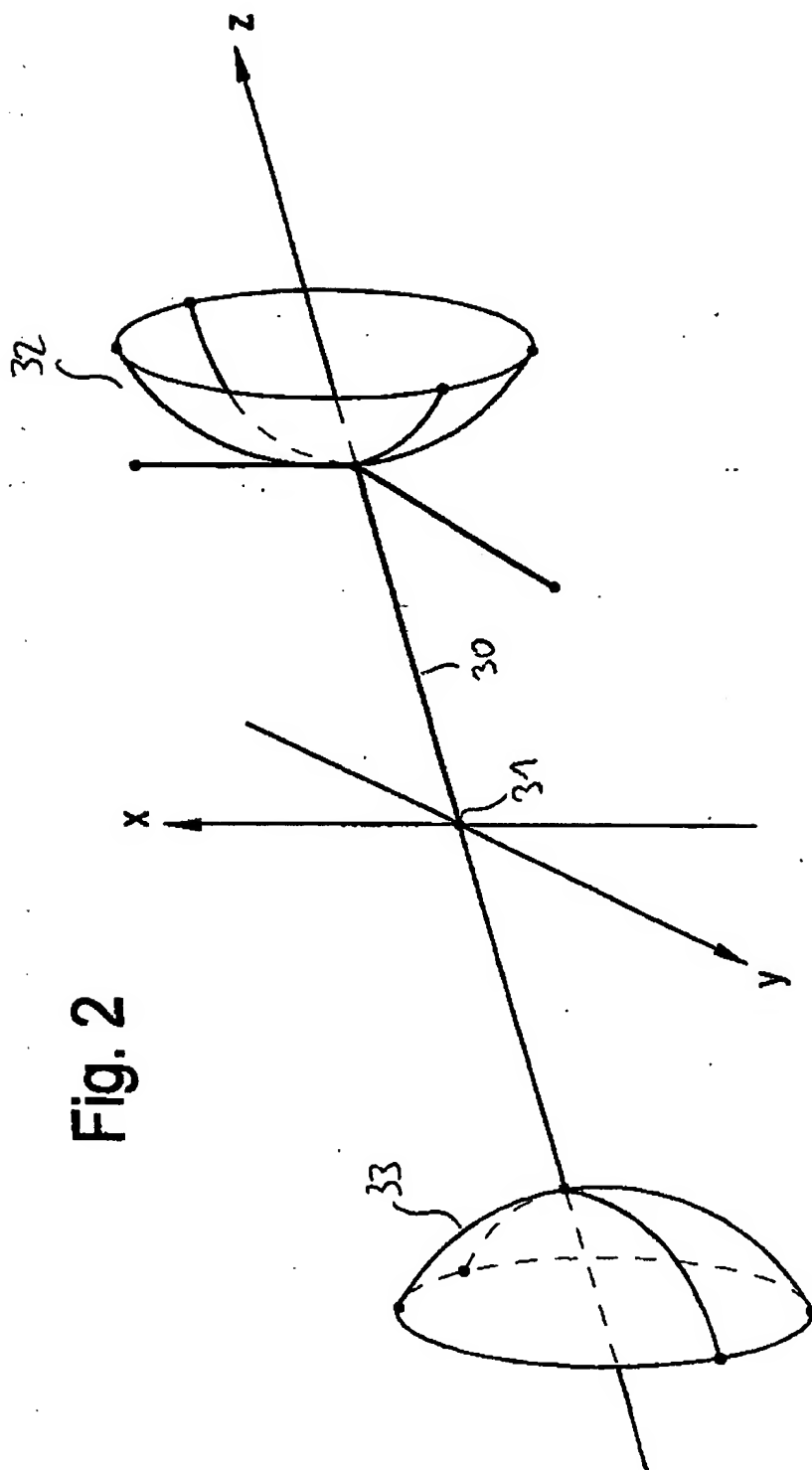
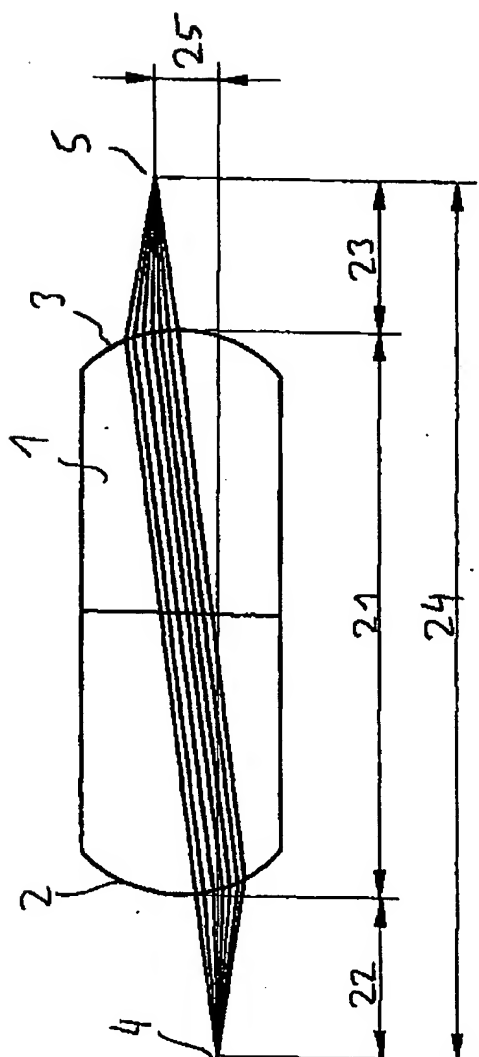


Fig. 2

Fig. 3





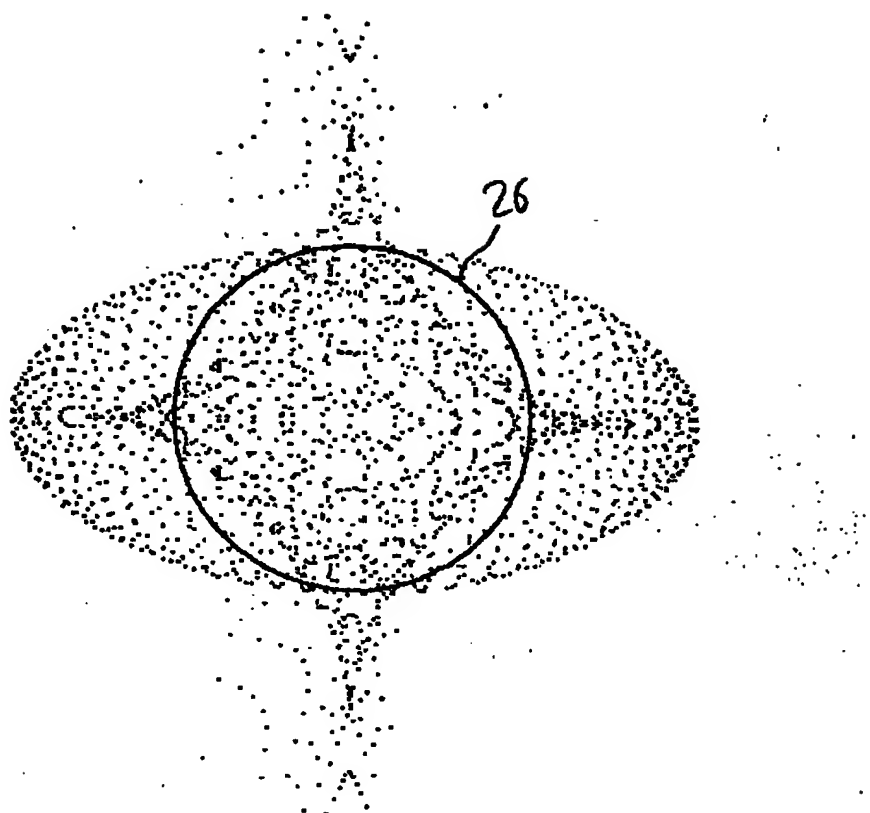


Fig. 4